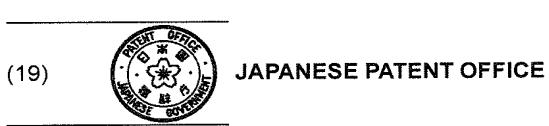


## Reference 2



### PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000091320 A  
(43) Date of publication of application: 31.03.2000

(51) Int. Cl H01L 21/3065  
C23C 16/455, C23F 4/00, H01L 21/205

(21) Application number: 10256159  
(22) Date of filing: 10.09.1998

(71) Applicant: FOI:KK  
KOBE STEEL LTD  
(72) Inventor: OKUMURA YUTAKA  
HIRANO TAKAYUKI  
KUGIMIYA TOSHIHIRO  
NOZAWA TOSHIHISA  
TOKUMURA TETSUO  
MUNEMASA ATSUSHI  
ISHIBASHI KIYOTAKA

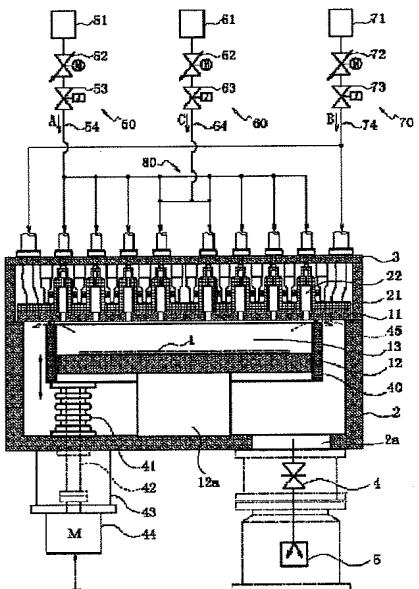
#### (54) PLASMA TREATMENT APPARATUS

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

##### (57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve uniformity of the plasma treatment by means of a plasma treatment apparatus.

SOLUTION: In a plasma treatment apparatus, in which plasma generating spaces 22, are scattered adjacent to a plasma treating space 13 in such a way that the spaces 22 are communicated with the space 13, a plasma generating gas A is introduced (50) into the plasma generating spaces 22, and a process gas B is introduced separately (70) into the plasma treating space 13 from the gas A. Then an additive gas C is introduced (60) into the plasma generating spaces 22 and mixed with the plasma-generating gas A, in such a way that the distribution of the mixing ratio is made different locally (80). Only a nonreaction gas is used for the gas A, and a reaction gas is used for the gas B. In addition, a by-product gas corresponding to a by-product or a different nonreactive gas is used for the gas C.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-91320

(P2000-91320A)

(43)公開日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 01 L 21/3065  
C 23 C 16/455  
C 23 F 4/00  
H 01 L 21/205

識別記号

F I  
H 01 L 21/302  
C 23 C 16/44  
C 23 F 4/00  
H 01 L 21/205

テマコード<sup>8</sup> (参考)  
B 4 K 0 3 0  
D 4 K 0 5 7  
A 5 F 0 0 4  
5 F 0 4 5

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全14頁)

(21)出願番号

特願平10-256159

(22)出願日

平成10年9月10日 (1998.9.10)

(71)出願人 596064444

株式会社エフオーアイ  
川崎市高津区坂戸3-2-1 かながわサイ  
エンスパーク

(71)出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所  
兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号

(72)発明者 奥村 裕

川崎市高津区坂戸3-2-1 かながわサイ  
エンスパーク 株式会社エフオーアイ内

(74)代理人 100106345

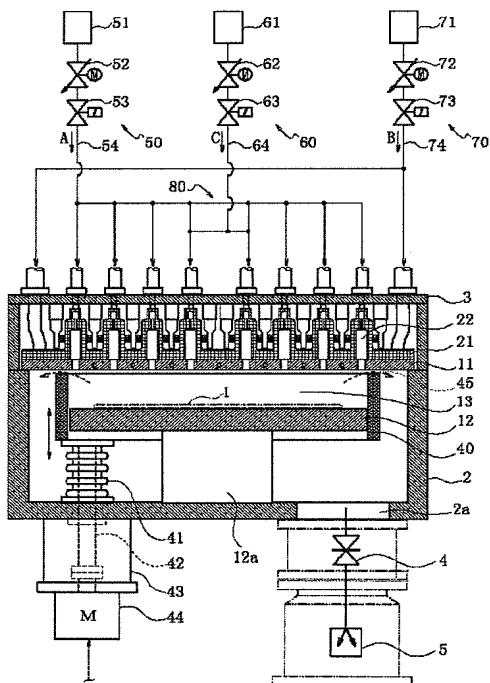
弁理士 佐藤 香

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57)【要約】

【課題】 プラズマ処理の均一性を向上させる。  
【解決手段】 プラズマ発生空間22がプラズマ処理空間13に隣接し且つ連通し更に分散しているプラズマ処理装置において、プラズマ発生空間22 プラズマ用ガスAを導入し(50)、これと別個にプラズマ処理空間13に処理ガスBを導入し(70)、プラズマ発生空間22に添加ガスCを導入し(60)、プラズマ発生空間22への導入に際してプラズマ用ガスAと添加ガスCとを混合するとともにその混合に際して混合割合の分布を局的に異ならせる(80)。ガスAには非反応性ガスのみを用い、ガスBには反応ガスを用い、ガスCには、副生成物に対応した副次ガスや、異なる非反応性ガスを用いる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】真空チャンバ内にプラズマ処理空間の形成されたプラズマ処理装置において、前記プラズマ処理空間にプラズマ用ガスを導入する第1のガス導入路と、この第1のガス導入路と別個に設けられ前記プラズマ処理空間に処理ガスを導入する第2のガス導入路と、前記プラズマ処理空間に添加ガスを導入する第3のガス導入路と、前記プラズマ用ガスと前記添加ガスとを混合するとともにその混合に際して混合割合の分布を局所的に異ならせる又は異なるらせ得る混合手段とを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】プラズマ処理空間が形成された第1機構と、前記第1機構に取着して又はそれと一体的に設けられプラズマ発生空間が分散等して形成された第2機構とを具え、前記プラズマ発生空間が前記プラズマ処理空間に隣接し且つ連通しているプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生空間にプラズマ用ガスを導入する第1のガス導入路と、この第1のガス導入路と別個に設けられ前記プラズマ処理空間に処理ガスを導入する第2のガス導入路と、前記プラズマ発生空間に添加ガスを導入する第3のガス導入路と、前記プラズマ発生空間への導入に際して前記プラズマ用ガスと前記添加ガスとを混合するとともにその混合に際して混合割合の分布を局所的に異ならせる又は異なるらせ得る混合手段とを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】非反応性ガスのみを前記プラズマ用ガスとして前記第1のガス導入路へ送給する手段と、反応ガス成分を含むガスを前記処理ガスとして前記第2のガス導入路へ送給する手段と、前記プラズマ処理空間内の被処理物から生じる副生成物に対応した副次ガスを含むガスを前記添加ガスとして前記第3のガス導入路へ送給する手段とを備えたことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載されたプラズマ処理装置。

【請求項4】非反応性ガスのみを前記プラズマ用ガスとして前記第1のガス導入路へ送給する手段と、反応ガス成分を含むガスを前記処理ガスとして前記第2のガス導入路へ送給する手段と、前記プラズマ用ガスとは成分又は成分割合の異なる非反応性ガスのみを前記添加ガスとして前記第3のガス導入路へ送給する手段とを備えたことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載されたプラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ICやLCDなど高精度の製造工程においてプラズマ処理を適切に行うに好適なプラズマ処理装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、CVDやエッチング、アッシング等のプラズマ処理に用いられるプラズマ処理装置の例と

して、対向電極となる一対の平行平板を設けておいてこれらの平行平板間にプラズマ処理空間を形成してシリコンウェハ等の基板を対象にエッチング処理を行ういわゆる平行平板形エッチャー(RIE)や成膜処理を行う平行平板形PCVD等が知られている。また、プラズマ処理に必要なプラズマの発生・形成をプラズマ処理空間で行うものの他、ECR(電子サイクロトロン共鳴)や、ICP(インダクティブカップルプラズマ)、TCPプラズマ(トランスフォームドカップルプラズマ)など、プラズマ処理空間から分離して形成されたプラズマ発生空間で行うものも知られている。

【0003】いずれにしても、処理対象である基板等の大小・広狭に拘わらず緻密で均一なプラズマ処理が求められることから、基板等の上面全域に亘って処理ガス分布やプラズマ状態の一様性を確保することが必要とされる。そして、その対策として、例えば基板サイズが大きくなるの伴って、処理ガス導入口を多数設けるとともにその分布に工夫を凝らすことや、プラズマ発生を担うプラズマ用ガスとプラズマ反応を担う処理ガスとを別個に導入すること等も、行われていた。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このような従来のプラズマ処理装置では、処理ガスやプラズマ用ガスの一様な導入に基づいて均一処理が図られていた。ところが、プラズマ処理空間内では、被処理物に処理ガスが反応して、種々の副生成物が生じ、その濃淡によって反応状態に影響が現れることもある。また、プラズマ処理空間内では、ガスの拡散に加えて、一様性を乱す種々の流れも存在する。このため、例え処理ガスやプラズマ用ガスが一様に分布して導入されたとしても、全面的に均一な処理が達成されることは限らない。

【0005】もっとも、これに対しては、プラズマ処理の不均一を補償するように、導入ガスの分布を一様分布から局所的に異ならせることも考えられる。しかしながら、そのような補償によって巨視的・大域的に見れば所望の均一処理がなされたとしても、微視的・局所的に見ると、不均一と言わざるを得ない場合もある。例え、シリコンウェハのエッチングでは、ウェハ全面に亘ってエッチングレートがほぼ均一になってエッチング溝の深さ等が揃ったときでも、個々の溝についての断面形状を比較すると、角部の丸まり具合や、開口部から底部にかけての径の変化などに、不揃いが見られる。

【0006】そこで、プラズマ処理の均一性を確保するに際し、巨視的・大域的な均一性に止まらず、微視的・局所的な均一性も得られるように工夫することが課題となる。この発明は、このような課題を解決するためになされたものであり、プラズマ処理の均一性に優れたプラズマ処理装置を実現することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決す

るために発明された第1乃至第4の解決手段について、その構成および作用効果を以下に説明する。

【0008】〔第1の解決手段〕第1の解決手段のプラズマ処理装置は(、出願当初の請求項1に記載の如く)、真空チャンバ内にプラズマ処理空間の形成されたプラズマ処理装置において、前記プラズマ処理空間にプラズマ用ガスを導入する第1のガス導入路と、この第1のガス導入路と別個に設けられ前記プラズマ処理空間に処理ガスを導入する第2のガス導入路と、前記プラズマ処理空間に添加ガスを導入する第3のガス導入路と、前記プラズマ処理空間への導入に際して前記プラズマ用ガスと前記添加ガスとを混合するとともにその混合に際して混合割合の分布を局所的に異ならせる又は異ならせ得る混合手段とを備えたものである。

【0009】このような第1の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、プラズマ処理空間内におかれた被処理物に対してプラズマ処理が施されるが、その処理に際して第1～第3のガス導入路を介し、プラズマ用ガス及び処理ガスに加えて添加ガスもプラズマ処理空間に導入される。そして、プラズマ用ガスと処理ガスとは別個に導入されるのに対し、添加ガスはプラズマ用ガスに混合して導入される。しかも、混合手段により、その混合割合の分布が局所的に異なるようにされる。

【0010】この場合、プラズマ用ガスと処理ガスとが別個に導入されるので、それらの流量や分配状態等を独立に制御することにより、被処理物のほぼ全域に亘って処理ガス分布やプラズマ状態の一様性が確保されて、プラズマ処理における巨視的・大域的な均一性が達成される。また、プラズマ用ガスへの添加ガスの混合割合についての分布が局所的に異なるようにされるが、その分布を微視的・局所的な不均一性に対応させることにより、巨視的・大域的な均一性を損なうこと無く微視的・局所的な均一性も改善される。なお、添加ガスは、処理ガスと異なるガスが用いられ、その活性が不足しやすいが、プラズマ用ガスに混合して導入されることにより、充分に励起され、無駄なく役立つこととなる。したがって、この発明によれば、巨視的・大域的な観点に加えて微視的・局所的な観点からもプラズマ処理の均一性に優れたプラズマ処理装置を実現することができる。

【0011】〔第2の解決手段〕第2の解決手段のプラズマ処理装置は(、出願当初の請求項2に記載の如く)、プラズマ処理空間が形成された第1機構と、前記第1機構に取着して又はそれと一体的に設けられプラズマ発生空間が分散等して形成された第2機構とを具え、前記プラズマ発生空間が前記プラズマ処理空間に隣接し且つ連通しているプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生空間にプラズマ用ガスを導入する第1のガス導入路と、この第1のガス導入路と別個に設けられ前記プラズマ処理空間に処理ガスを導入する第2のガス導入路と、前記プラズマ発生空間に添加ガスを導入する第3の

ガス導入路と、前記プラズマ発生空間への導入に際して前記プラズマ用ガスと前記添加ガスとを混合するとともにその混合に際して混合割合の分布を局所的に異ならせる又は異ならせ得る混合手段とを備えたものである。

【0012】ここで、上記の「分散等」とは、点状に分かれて散在しているという文字通りの分散の他、密接とは言えない程度に離れるように分割されている場合や、線状、破線状、直・曲線状などで複数の又はそれらの混在するものがプラズマ処理空間との隣接部・連通部に分布している場合、さらには環状、円状、多角形状、スパイラル状のものが同心で若しくは非同心で多数が列設され又は単独で広く形成されている場合も該当する意味である。

【0013】このような第2の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、プラズマ空間の分離および隣接連通という条件を維持することにより、プラズマダメージやチャージアップの低減、及びプラズマにおけるラジカル種の成分とイオン種の成分との比率適正化が達成される。また、プラズマ発生空間が分散等して形成されていることにより、プラズマ分布の均一性が確保されるばかりか、プラズマ処理空間との連通隣接面さらにはその面に沿ったプラズマ発生空間自身の断面積が必然的にプラズマ処理空間のそれよりも小さくなり、プラズマ処理空間からプラズマ発生空間へのガス流入が阻止されるので、反応性を持った処理ガスが高密度プラズマに曝されて不所望な汚染物等に変質するのを防止することができて、プラズマ処理に良質のプラズマが供給される。

【0014】そして、プラズマ処理空間内におかれた被処理物に対してプラズマ処理が施される際に、第1～第3のガス導入路を介し、プラズマ用ガス及び処理ガスに加えて添加ガスもプラズマ処理空間に導入される。しかも、その際、プラズマ用ガスと処理ガスとは別個に導入されるのに対し、添加ガスはプラズマ用ガスに混合して導入される。さらに、添加ガスは、混合手段により、その混合割合の分布が局所的に異なるようにされる。

【0015】このようにプラズマ用ガスと処理ガスとが別個に導入されるので、それらの流量や分配状態等を独立に制御することにより、被処理物のほぼ全域に亘って処理ガス分布やプラズマ状態の一様性が確保されて、プラズマ処理における巨視的・大域的な均一性が達成される。また、プラズマ用ガスへの添加ガスの混合割合についての分布が局所的に異なるようにされるが、その分布を微視的・局所的な不均一性に対応させることにより、巨視的・大域的な均一性を損なうこと無く微視的・局所的な均一性も改善される。

【0016】なお、添加ガスは、処理ガスと異なるガスが用いられ、その活性が不足しやすいが、プラズマ用ガスに混合して導入されることにより、しかもプラズマ発生空間を経てから導入されることにより、充分に励起され、無駄なく役立つこととなる。また、処理ガスのよう

に高密度プラズマに曝されて不所望な汚染物等に変質するということは考えられないで、プラズマの質を劣化させることも無い。したがって、この発明によれば、巨視的・大域的な観点に加えて微視的・局所的な観点からもプラズマ処理の均一性に優れたプラズマ処理装置を実現することができる。

【0017】【第3の解決手段】第3の解決手段のプラズマ処理装置は（、出願当初の請求項3に記載の如く）、上記の第1、第2の解決手段のプラズマ処理装置であって、非反応性ガスのみを前記プラズマ用ガスとして前記第1のガス導入路へ送給する手段と、反応ガス成分を含むガスを前記処理ガスとして前記第2のガス導入路へ送給する手段と、前記プラズマ処理空間内の被処理物に前記反応ガスが反応して生じる副生成物に対応した副次ガスを含むガスを前記添加ガスとして前記第3のガス導入路へ送給する手段とを備えたものである。

【0018】このような第3の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、プラズマ処理に伴って生じる副生成物の偏在が、添加ガスによって直接的に解消される。これにより、副生成物に起因した不均一性が的確に改善されて、プラズマ用ガス及び処理ガスに基づく巨視的・大域的な均一性を損なうこと無く、微視的・局所的な均一性も得られることとなる。

【0019】【第4の解決手段】第4の解決手段のプラズマ処理装置は（、出願当初の請求項4に記載の如く）、上記の第1、第2の解決手段のプラズマ処理装置であって、非反応性ガスのみを前記プラズマ用ガスとして前記第1のガス導入路へ送給する手段と、反応ガス成分を含むガスを前記処理ガスとして前記第2のガス導入路へ送給する手段と、前記プラズマ用ガスとは成分又は成分割合の異なる非反応性ガスのみを前記添加ガスとして前記第3のガス導入路へ送給する手段とを備えたものである。

【0020】このような第4の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、非反応性ガスが混合されてプラズマ発生空間やプラズマ処理空間に導入されるが、ガス種が異なるとプラズマ温度等に相違が見られることと、その混合割合が局所的に異なることから、プラズマ処理空間へ供給されるプラズマについての温度分布にも局所的な変動を生じる。そして、このようなプラズマの温度分布を、微視的・局所的な不均一性に対応させることによっても、プラズマ用ガス及び処理ガスに基づく巨視的・大域的な均一性を損なうこと無く、微視的・局所的な均一性を間接的に改善することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】このような解決手段で達成された本発明のプラズマ処理装置について、これを実施するための形態を以下の第1～第7実施例および変形例により説明する。図1～図3に示した第1実施例は、上述の第2、第3解決手段を具現化したものであり、図4に示し

た第2実施例は、上述の第2、第4解決手段を具現化したものであり、図5の第3実施例および図6の第4実施例も、上述の第2、第4解決手段を具現化したものである。また、図7の第5実施例および図8の第6実施例は、上述の第2、第3解決手段あるいは上述の第2、第4解決手段のいずれの具現化にも適合するものであり、図9に示した第7実施例は、上述の第2、第3、第4解決手段を具現化したものである。さらに、図示を割愛した変形例は、上述の第1解決手段を具現化したものとなっている。

【0022】

【第1実施例】本発明のプラズマ処理装置の第1実施例としてのプラズマエッチング装置について、その具体的な構成を、図面を引用して説明する。図1は、一部を断面で示した全体模式図であり、図2は、そのうちプラズマ発生空間周りの縦断面斜視図であり、図3は、それにプラズマ処理空間等を加えた縦断面図である。

【0023】このプラズマエッチング装置は、真空チャンバ本体部2および真空チャンバ蓋部3からなる真空チャンバと、その内部にプラズマ処理空間を確保するための平行平板部（第1機構）と、プラズマ発生空間を確保するための隣接機構部（第2機構）およびその付加部と、各プラズマに電界又は磁界を印加するための印加回路部と、真空チャンバ内を真空状態に保つための圧力制御部と、プラズマ用ガス及び処理ガスに加えて添加ガスを導入するためのガス供給部とで構成されている。

【0024】平行平板部は、一対の平行平板となる共に金属製のアノード部11及びカソード部12を真空チャンバ内に有していて、アノード部11が上方に配置され、真空チャンバ本体部2の内底でローアーサポート12aにて支持されたカソード部12が下方に配置されて、これらによって挟まれたところに低温プラズマ10用のプラズマ処理空間13が形成されるものとなっている。このカソード部12は、エッチング対象のウエハ等の基板1を乗載するために、上面が絶縁処理されている。また、アノード部11は、予め、多数の連通口14が貫通して穿孔されるとともに、プラズマ処理空間13へ向けて開口した第2のガス導入路としての処理ガス供給口15も形成されたものとなっている。これにより、処理ガスBが処理ガス供給口15を介してプラズマ処理空間13へ供給される。この例では、連通口14の横断面積とプラズマ処理空間13の有効な横断面積との比すなわち第1比が0.05になっている。

【0025】隣接機構部すなわち一対の平行平板のうちの一方の平板11に隣接する機構は、絶縁物製のプラズマ発生チャンバ21が主体となっており、このプラズマ発生チャンバ21には、プラズマ発生空間22となる複数の（図では4個の）環状溝が同心に彫り込まれて形成されている。これにより、プラズマ発生空間22が分散等したものとなっている。そして、プラズマ発生チャン

バ21は、プラズマ発生空間22の開口側（図では下面）をアノード部11の上面に密着した状態で固定される。その際、プラズマ発生空間22の開口がアノード部11の連通口14に重なるように位置合わせがなされる。これにより、プラズマ発生空間22とプラズマ処理空間13とが互いに隣接し且つ連通しているものとなる。この例では、連通口14の横断面積とプラズマ発生空間22の横断面積との比が0.5になっている。これにより、プラズマ発生空間22がプラズマ処理空間13に連通するところの面積がプラズマ発生空間22の面積よりも小さくて少し絞られた状態となる。なお、これらの比の値は大小関係が逆転しない限り自由に変えてよいものである。

【0026】また、プラズマ発生チャンバ21は、プラズマ発生空間22のさらに奥に第1のガス導入路および第3のガス導入路としてのプラズマ用ガス送給路23がやはり環状に形成され、両者が多数の小穴またはノズルで連通されていて、プラズマ発生空間22は底部（図では上方）からプラズマ用ガスAや添加ガスCの供給を受けて高密度プラズマ20を発生させ連通口14を介してプラズマ処理空間13へそれを送り込むものとなっている。さらに、プラズマ発生チャンバ21は、プラズマ発生空間22を囲む側壁と底部とを残すようにしてプラズマ発生空間22開口側の裏の面（図では上面）が削り取られる。そして、プラズマ発生空間22の両側壁を挟むようにして、コイル24及び永久磁石片25が環状に付加される。

【0027】永久磁石片25は、縦の長さがプラズマ発生空間22のそれにほぼ等しくされ、且つ横のプラズマ発生空間22方向へ磁極が向くようにされ、さらに環状の不所望な誘起電流を断つために小片に分けて形成されている。そして、多数の永久磁石片25がプラズマ発生空間22側壁に沿って列設されることで、プラズマ発生空間22に対応した環状の磁気回路が構成される。これにより、磁気回路用の磁性部材25は最外周以外のものがプラズマ発生空間22によって挟まれたところに配置されたものとなっている。この磁気回路の磁力は、質量の小さい電子を捕捉可能な程度の強さで十分であり、質量の大きいイオンまで捕捉する程度の強さは不要である。

【0028】印加回路部は、RF電源31を中心とする第1印加回路と、RF電源32を中心とする第2印加回路とに分かれる。RF電源31は、その出力パワーが可変のものであり、接地されたアノード部との間に交番電界を印加するとともにバイアス電圧も発生させるために、その出力はブロッキングキャパシタを介してカソード部12へ送給される。また、これには、周波数500KHz～2MHzのものがよく用いられる。これにより、第1印加回路は、低温プラズマ10の強化に或る程度寄与する電界をプラズマ処理空間13に印加するもの

となっている。

【0029】RF電源32は、やはり出力パワーが可変のものであり、プラズマ発生空間22を挟む両コイル24を駆動してプラズマ発生空間22に交番磁界を印加するようになっている。その最大出力パワーは大きく、その周波数は13MHz～100MHzとされることが多い。これにより、第2印加回路は、高密度プラズマ20の発生および強化に寄与する磁界をプラズマ発生空間22に印加するものとなっている。

【0030】圧力制御部は、真空ポンプ5と、可動壁体40及びこれを上下動させる壁体駆動機構41～44とからなる。真空ポンプ5は、ロータリポンプやメカニカルプースタ等が用いられ、真空チャンバ本体部2に貫通して形成された吸引口2aに対しゲートバルブ4を介して連結されて、真空チャンバ内のガスを吸引排気するようになっている。

【0031】可動壁体40は、金属製の筒状体からなり、内径がカソード部12の外径より僅かに大きくて内腔にカソード部12が緩く上下動可能に嵌合されるようになっている。その上端はアノード部11に接近したときに全周縁のところにほぼ同一の隙間45ができるようになっている。そして、そのときに、可動壁体40は上部がプラズマ処理空間13の側面周辺を塞ぐとともに下部がカソード部12との嵌合が外れないところまで届くような長さに形成されている。これにより、可動壁体40は、真空チャンバ2, 3内に設けられ一対の平行平板11, 12を基準としたプラズマ処理空間13の開口部分を囲う形状のものとなっている。そして、その隙間45を真空ポンプ5による排気の流れに対する可変絞りとして、プラズマ処理空間13の圧力がガスA, B, Cの流量と可動壁体40の上下位置とに応じて定まる。なお、この可動壁体40は不所望にチャージアップしないように接地等されるようにもなっている。

【0032】壁体駆動機構41～44は、気密性及び伸縮性を持ったベローズ41が吸引口2aと重ならない位置で真空チャンバ本体部2の底面と可動壁体40とを連結し、このベローズ41内にボールネジ42が縦に遊撃され、その上端が可動壁体40に連結されていて、可動壁体40を上下動可能に支持するものである。さらに、ボールネジ42は、サポート43によって真空チャンバ本体部2に対して固定されたモータ44の回転軸に対して下端が連結されている。そして、モータ44が回転すると、これに応じてボールネジ42が進退駆動され、それに伴って可動壁体40が上下に駆動されて、上はアノード部11にほぼ当接するまで下はカソード部12の上面より低いところまで可動壁体40が移動する。これにより、壁体駆動機構41～44は、可動壁体40がプラズマ処理空間13の開口部分を囲う上方位置と、可動壁体40がプラズマ処理空間13の開口部分を解放する下方位置との両位置に亘って、可動壁体40を上下方向に

進退させるものとなっている。

【0033】ガス供給部は、処理ガスBを供給する処理ガス供給ユニット70と、プラズマ用ガスAを供給するプラズマ用ガス供給ユニット50と、添加ガスCを供給する添加ガス供給ユニット60と、各ガスA、B、Cをプラズマ処理空間13やプラズマ発生空間22へ導く配管等とからなり、その配管等の一部が配管等ユニット80となっている。

【0034】プラズマ用ガス供給ユニット50は、プラズマ用ガスAを貯留するガスボンベ51と、図示しないメインコントローラ等の制御に従ってガスボンベ51からのガス流出量を調節するマスフローコントローラ52と、安全や保守作業等を考慮してマスフローコントローラ52に従属接続されガス供給時の開閉状態にされる開閉弁53と、ここから真空チャンバ蓋部3に向けて延び途中で配管81、82等に分岐して最終的にプラズマ用ガス送給路23に連通する配管54とを具えている。そして、ガスボンベ51にはアルゴン等の非反応性ガスが充填され、その非反応性ガスからなるプラズマ用ガスAは、開閉弁53が開のとき、マスフローコントローラ52の設定に対応した流量だけ、配管54、81、82を介してプラズマ用ガス送給路23に送り込まれる。これにより、配管54、81、82は、プラズマ発生空間22にプラズマ用ガスAを導入する第1のガス導入路となっており、また、ガスボンベ51は、非反応性ガスのみをプラズマ用ガスAとして第1のガス導入路へ送給するものとなっている。

【0035】処理ガス供給ユニット70は、処理ガスBを貯留するガスボンベ71と、図示しないメインコントローラ等の制御に従ってガスボンベ71からのガス流出量を調節するマスフローコントローラ72と、安全や保守作業等を考慮してマスフローコントローラ72に従属接続されガス供給時の開閉状態にされる開閉弁73と、ここから真空チャンバ蓋部3に向けて延び適宜分岐しながら更にアノード部11に至りその内で分配されて最終的に処理ガス供給口15に連通する配管74とを具えている。そして、ガスボンベ71にはフロンガスやシランガス等の反応ガスに適量の希釈ガスを混合させたもの等が充填され、その反応ガスを含んだ処理ガスBは、開閉弁73が開のとき、マスフローコントローラ72の設定に対応した流量だけ、配管74を介して処理ガス供給口15に送り込まれる。これにより、配管74は、第1のガス導入路と別個に設けられプラズマ処理空間13に処理ガスBを導入する第2のガス導入路となっており、また、ガスボンベ71は、反応ガス成分を含むガスを処理ガスBとして第2のガス導入路へ送給するものとなっている。

【0036】添加ガス供給ユニット60は、添加ガスCを貯留するガスボンベ61と、図示しないメインコントローラ等の制御に従ってガスボンベ61からのガス流出

量を調節するマスフローコントローラ62と、安全や保守作業等を考慮してマスフローコントローラ62に従属接続されガス供給時の開閉状態にされる開閉弁63と、ここから真空チャンバ蓋部3に向けて延び途中で適宜分岐しながら配管82に至りそこで合流することで最終的にはプラズマ用ガス送給路23に連通する配管64とを具えている。そして、添加ガスCは、開閉弁63が開のとき、マスフローコントローラ62の設定に対応した流量だけ、配管64、82を介してプラズマ用ガス送給路23に送り込まれる。これにより、配管64、82は、プラズマ発生空間22に添加ガスCを導入する第3のガス導入路となっている。

【0037】また、ガスボンベ61には酸素ガスが充填され、これによってガスボンベ61は、酸素ガスを添加ガスCとして第3のガス導入路へ送給するものとなっている。そして、その酸素ガスは、プラズマ処理空間13内の被処理物1から生じる副生成物に対応した副次ガスとなっている。すなわち、シリコンウェハ等のエッチングに際し、その表面の有機レジストから炭素や酸素等を含んだ副生成物が発生し、これがガスやイオンの状態になってプラズマ処理空間13内の低温プラズマ10に混入してエッチング特性に影響を及ぼすが、そのうち酸素や酸化物は、適度な濃度であればエッチング抜け性やエッチング形状の改善に寄与する。そこで、添加ガスCとして、酸素ガスが用いられる。

【0038】配管等ユニット80には、上記の配管54が分岐してからプラズマ用ガス送給路23に至るまでのところ即ち配管81及び配管82のところが該当する。配管81は、配管54から分岐してそのままプラズマ用ガス送給路23の一つに連通するが、そのプラズマ用ガス送給路23は内側から数えて2番目である。符号や詳細な図示は割愛したが、内側から数えて3番目以降の外側のプラズマ用ガス送給路23に対しても配管54から分岐した配管がそのまま連通する。これに対し、配管82は、最も内側のプラズマ用ガス送給路23に連通する。しかも、配管54から分岐してプラズマ用ガス送給路23に至る途中で添加ガス供給ユニット60からの配管64が連結されている。そして、プラズマ用ガスAは、総てのプラズマ用ガス送給路23に分配されるが、添加ガスCは、配管82のところでプラズマ用ガスAに合流して、最内側のプラズマ用ガス送給路23にだけ送り込まれるので、中央部分では添加ガスCがプラズマ用ガスAに混合されるのに対し、周辺部分では混合されない。これにより、配管等ユニット80は、プラズマ発生空間22への導入に際してプラズマ用ガスAと添加ガスCとを混合するとともにその混合に際して混合割合の分布を局所的に異ならせる混合手段となっている。

【0039】このような第1実施例のプラズマ処理装置について、その使用態様及び動作を説明する。

【0040】使用時には、真空チャンバ蓋部3が閉めら

れて、真空チャンバ本体部2の内部さらにはプラズマ処理空間13及びプラズマ発生空間22も密閉される。それから、可動壁体40がカソード部12よりも下方へ下げられ、その状態で真空チャンバ2、3内へ図示しない基板搬入口等を介して横から水平状態の基板1が搬入され、この基板1がカソード部12の上面に載置される。そして、基板搬入口等が閉められると同時に真空ポンプ5による真空引きが行われる。このとき、ゲートバルブ4は開状態にされたままであり、真空チャンバ2、3内は速やかに真空状態となる。

【0041】それから、モータ44を回転させて可動壁体40をアノード部11に当接しない程度に上昇させ、プラズマ用ガス供給ユニット50によるプラズマ用ガスAの供給や、添加ガス供給ユニット60による添加ガスCの供給、処理ガス供給ユニット70による処理ガスBの供給などを適宜に開始すると、可動壁体40の上端とアノード部11の下面との間に形成される隙間45を絞りとしてプラズマ処理空間13内の圧力が適度に保たれる。このとき、プラズマ用ガスAは、分散配置のプラズマ発生空間22及び連通口14を経由して、一様分布に近い分配状態でプラズマ処理空間13に流入する。また、処理ガスBも、多数の処理ガス供給口15を介して、やはり一様分布に近い分配状態でプラズマ処理空間13に流入する。ただし、添加ガスCは、中央部分のプラズマ用ガスAにだけ混合されているので、流れ込んだ中央部分では濃くなるが、隙間45に向けて流れながら広がるので、周辺部分では外側ほど薄くなる。

【0042】また、隙間45による絞り部はプラズマ処理空間13の上部周辺にほぼ一様に展開して形成され、プラズマ処理空間13内圧力とその外側の真空チャンバ内圧力との差に応じて、絞り部の何処でもガス等の通過流体の流れが概ね同様の状態となるので、プラズマ処理空間13内のガス状態はほぼ対称形で均一性の高いものとなる。さらに、このような圧力状態はプラズマ処理空間13にプラズマが形成されたときにも継続するので、以下に述べるエッティング処理における低温プラズマ10の状態も、ほぼ対称形で均一性の高いものとなる。これで、カソード部12上に乗載された基板1に対するプラズマエッティング処理の準備が調う。

【0043】次に、RF電源32を作動させると、プラズマ発生空間22内にコイル24を介してRF電磁界が印加され、プラズマ用ガスAの電子が激しく運動せられる。このとき、電子は、永久磁石片25による磁気回路の働きによってプラズマ発生空間22に長く留まり、環状空間内を螺旋運動しながら飛び回ってプラズマ用ガスA及び添加ガスCを励起させる。こうして、高密度プラズマ20が発生するが、プラズマ発生空間22に封じられた電子にはイオン種生成に大きく寄与する10~15eV以上の高いエネルギーのものが多く含まれているので高密度プラズマ20はイオン種成分の比率が高い。

そして、プラズマ発生空間22で膨張した高密度プラズマ20は、特にそのラジカル種およびイオン種成分は、膨張圧力によって速やかにプラズマ処理空間13へ運ばれる。

【0044】また、RF電源31を作動させると、プラズマ処理空間13にもアノード部11及びカソード部12を介してRF電界が印加される。こちらには電子を封じ込める磁気回路等がないので、処理ガスB等が励起されても高密度プラズマができないで、低温プラズマ10となる。RF電源31からのパワーだけの場合、低温プラズマ10は、10~15eV以上のエネルギーを持った電子が少ないので、ラジカル種成分の比率が高くなる。もっとも、この装置における低温プラズマ10の場合は、上述の高密度プラズマ20が混合されるので、実際のラジカル種成分とイオン種成分との比率は、両者の中間における何れかの比率となる。

【0045】そして、RF電源31、32の出力を適宜アップダウンさせると、それに対応して低温プラズマ10におけるラジカル種成分とイオン種成分との比率が変化する。その可変範囲は、従来のほとんど総ての機種をカバーしうるほど広範に亘っている。こうして、基板1の材質や処理ガスBの特質などに基づき、そのときのエッティングにとって最適な条件の下で効率よくエッティング処理が進む。

【0046】しかも、プラズマ発生空間22の断面積がプラズマ処理空間13の断面積よりも遥かに小さくなっているので、高密度プラズマ20がプラズマ発生空間22からプラズマ処理空間13へ速やかに送り出されるうえに、そもそもプラズマ処理空間13からプラズマ発生空間22へ逆流して入り込むガス量が少ないので、処理ガスBが高密度プラズマ20で直接に励起されて不所望なまで分解・電離するということがほとんど無くて、良質なプラズマによるエッティング処理が効率よく進む。そして、その際に、処理ガスB等がプラズマ処理空間13内にほぼ一様に分布し、その低温プラズマ10によって基板1の主表面では概ね全域に亘ってエッティングレート等が揃い、均一なエッティング処理がなされる。

【0047】また、このようなエッティングに伴い、基板1の主表面に塗布されている有機レジストから、上述したように酸素を含んだ副生成物が発生するが、その濃度分布は、中央から周辺に向かう低温プラズマ10の流れに乗って重畠するので、中央部分では薄いが、周辺部分では外側ほど濃くなる。この分布は、上述した添加ガスCの濃度分布と反対になる。そして、両者を併せると、酸素ガス成分も、プラズマ処理空間13内でほぼ一様に分布し、その低温プラズマ10によって基板1の主表面では概ね全域に亘ってエッティング抜け性や形状等も揃い、均一なエッティング処理がなされる。こうして、副生成物の濃度分布も改善されて、巨視的・大域的な均一性に止まらず、微視的・局所的な均一性も得られる。

## 【0048】

【第2実施例】本発明のプラズマ処理装置の第2実施例について、その具体的な構成を、図面を引用して説明する。図4は、一部を断面で示した全体模式図であり、上記の図1に対応している。このプラズマ処理装置が(図4参照)、第1実施例(図1参照)のと相違するのは、ガスボンベ61に対し酸素ガスでなく例えればキセノンガスが充填される点と、配管等ユニット80の配管接続状態が変更された点である。

【0049】キセノンやヘリウム等は、非反応性ガスという点でガスボンベ51のアルゴンと共に通するが、同じプラズマ発生空間22で同様に励起されてプラズマになったときでもその温度が違ってくる。これにより、ガスボンベ61は、プラズマ用ガスAとは成分の異なる非反応性ガスのみを添加ガスCとして第3のガス導入路64へ送給する手段となっている。また、配管等ユニット80では、配管64の合流先が、配管54の分岐管のうち内側のプラズマ用ガス送給路23に至る配管82でなくて最も外側のプラズマ用ガス送給路23に至る配管になっている。

【0050】この場合、流量制御弁62によって添加ガスCの流量が可変されると、プラズマ処理空間13の周辺部分で、アルゴンに対するキセノンの混合割合が変化し、それに応じてそこの低温プラズマ10の温度が上下する。添加ガスCの流量はプラズマ用ガスAや処理ガスBに比べて少量なので、処理ガスB等の濃度分布は、ほとんど変わらない。こうして、処理ガスBの濃度分布に基づく均一処理を損なうこと無く、周辺部でのプラズマ温度の低下等に起因して生ずる異質の局所的な不均一を補償することができる。

## 【0051】

【第3実施例】本発明のプラズマ処理装置の第3実施例について、その具体的な構成を、図面を引用して説明する。図5は、一部を断面で示した全体模式図であり、上記の図1及び図4に対応している。このプラズマ処理装置が(図4参照)、第1実施例(図1参照)のと相違するのは、配管等ユニット80の配管接続状態等が変更されている点である。

【0052】すなわち、上述の例では配管64の合流先が最内側のプラズマ用ガス送給路23だけに向けられていたのに対し、この例では、配管64が、先ず分岐してから、それぞれの分岐管が配管54の分岐管に合流することで、最外側を除く内側の複数個のプラズマ用ガス送給路23に向けられ、添加ガスCが分配されるようになっている。また、配管64が分岐する度にオリフィス83が挿着されて、外側の分岐管ほど絞りが多段に働いて流量が絞られるが、オリフィス83の穴径を加減したりオリフィス83を取り外したりすることで、添加ガスCの分配状態を調節・変更することが可能である。これにより、この配管等ユニット80は、プラズマ発生空間2

2への導入に際してプラズマ用ガスAと添加ガスCとを混合するとともにその混合に際して混合割合の分布を局所的に異ならせ得る混合手段となっている。

【0053】この場合、添加ガスCは、やはり中央部分で濃く周辺部分で薄くなるが、中間でも幾分追加されるので、その濃度変化が緩やかになる。こうして、副生成物の濃度分布の改善等が、上述の例の場合より、きめ細かく適切になされる。

## 【0054】

【第4実施例】本発明のプラズマ処理装置の第4実施例について、その具体的な構成を、図面を引用して説明する。図6は、一部を断面で示した全体模式図であり、上記の図5に対応している。

【0055】このプラズマ処理装置が(図6参照)、第3実施例(図5参照)のと相違するのは、処理ガス供給口15が内周部分から外周部分へ4区分された点と、配管74も先ず分岐してからそれぞれの分岐管が各区分の処理ガス供給口15に連通するようになった点と、配管74が分岐するところのうち内側2箇所にチョーク84が介挿された点である。この場合、処理ガスBについても、中央寄りのところでは、その分布状態を変更することが可能である。しかも、チョーク84を手動操作することで、装置が作動中であっても、分布状態を微調整することができる。

## 【0056】

【第5実施例】本発明のプラズマ処理装置の第5実施例について、その具体的な構成を、図面を引用して説明する。図7は、一部を断面で示した全体模式図であり、上記の図6に対応している。

【0057】このプラズマ処理装置が(図7参照)、第4実施例(図6参照)のと相違るのは、配管64も配管54と同数に分岐してそれぞれ合流している点と、チョーク84が配管54, 64, 74の分岐管それぞれに挿入された点である。この場合、プラズマ用ガスAと添加ガスCとの混合割合の分布を各区分に対応した局所ごとに異ならせることが可能となる。また、各ガスA, B, C何れについても、濃淡双方向に調整することができる。

## 【0058】

【第6実施例】本発明のプラズマ処理装置の第6実施例について、その具体的な構成を、図面を引用して説明する。図8は、一部を断面で示した全体模式図であり、上記の図7に対応している。

【0059】このプラズマ処理装置が(図8参照)、第5実施例(図7参照)のと相違るのは、チョーク84が何れもマスフローコントローラ85によって置換された点である。なお、これに伴い、マスフローコントローラ52, 62, 72は、省略されている。この場合、各マスフローコントローラ85の流量をいわゆるレシピとして図示しないメインコントローラ等に予め設定してお

くことで、プラズマ用ガスAの濃度分布、それに対する添加ガスCの混合割合の分布、さらに処理ガスBの濃度分布を、自動的に調節することができる。

【0060】

【第7実施例】本発明のプラズマ処理装置の第7実施例について、その具体的な構成を、図面を引用して説明する。図9は、一部を断面で示した全体模式図であり、上記の図8に対応している。

【0061】このプラズマ処理装置が(図9参照)、第6実施例(図8参照)のと相違するのは、添加ガス供給ユニット90が追加された点である。添加ガス供給ユニット90は、添加ガス供給ユニット60と同様にガスボンベ91と開閉弁93と配管94とからなり、添加ガスDを供給する。そして、その配管94も、配管64同様に分岐してから個々にマスフローコントローラ85を介挿され、それぞれの分岐管ごとに配管64の分岐管に合流する。この場合、ガスボンベ61には酸素ガスが充填され、ガスボンベ91にはヘリウムガスが充填されて、それぞれレシピに応じた適宜な分布でプラズマ発生空間22そしてプラズマ処理空間13へ導入される。

【0062】

【変形例】上述の実施例では、プラズマ用ガスAと添加ガスC、Dとの混合を配管等ユニット80にて行うようにしたが、その混合箇所は、配管部に限られるものでなく、プラズマ用ガス送給路23や、プラズマ発生空間22であっても良い。また、添加ガスC、Dのうち一定分布の混合割合を担う分については、ガスボンベ61、91に限らず、予めガスボンベ51やガスボンベ71に混入されていても良い。添加ガスC、Dとしては、酸素の他、窒素も使用され、これはエッキング及びCVDの双方に役立つ。窒素酸化物(N<sub>2</sub>O、NO<sub>2</sub>)や炭素系(CO<sub>2</sub>、CO)も良い。

【0063】さらに、上述の実施例では、プラズマ空間がプラズマ発生空間とプラズマ処理空間とに分離されているものを具体例に挙げたが、本発明の適用は、そのような場合に限定されるものでなく、プラズマ発生空間がプラズマ処理空間から分離されていない場合でも、プラズマ用ガスAが処理ガスBとは別個にプラズマ処理空間へ導入されるようにするとともに、その導入に際してプラズマ用ガスAに添加ガスCを混合させることで、可能となり、相応の効果が得られる。

【0064】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の第1の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、プラズマ用ガスと処理ガスとを別個に導入して巨視的・大域的な均一性を確保するとともに、それでも残る微視的・局所的な不均一性に混合割合の分布を対応させて添加ガスも導入しうるようにしたことにより、巨視的・大域的な均一性を損なうことなく微視的・局所的な均一性も改善され、その結果、プラズマ処理の均一性に優れたプラ

ズマ処理装置を実現することができたという有利な効果が有る。

【0065】また、本発明の第2の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、プラズマ用ガスと処理ガスとをそれぞれプラズマ発生空間とプラズマ処理空間へ別個に導入して良質性および巨視的・大域的な均一性を確保するとともに、それでも残る微視的・局所的な不均一性に混合割合の分布を対応させて添加ガスも導入しうるようにしたことにより、巨視的・大域的な均一性等を損なうことなく微視的・局所的な均一性も改善され、その結果、プラズマ処理の均一性に優れたプラズマ処理装置を実現することができたという有利な効果を奏する。

【0066】さらに、本発明の第3の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、プラズマ処理に伴って生じる副生成物の偏在が添加ガスによって直接的に解消されるようにしたことにより、副生成物に起因した微視的・局所的な不均一性を的確に改善することができたという有利な効果が有る。

【0067】また、本発明の第4の解決手段のプラズマ処理装置にあっては、非反応性ガスの混合割合に基づくプラズマ温度分布の局所的変動を介して間接的に微視的・局所的な不均一性が改善されるようにしたことにより、巨視的・大域的な観点に加えて微視的・局所的な観点からもプラズマ処理の均一性に優れたプラズマ処理装置を実現することができたという有利な効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のプラズマ処理装置の第1実施例について、一部を断面で示した全体模式図である。

【図2】 そのうちプラズマ発生空間周りの縦断面斜視図である。

【図3】 それにプラズマ処理空間等を加えた縦断面図である。

【図4】 本発明の第2実施例についての全体模式図である。

【図5】 本発明の第3実施例についての全体模式図である。

【図6】 本発明の第4実施例についての全体模式図である。

【図7】 本発明の第5実施例についての全体模式図である。

【図8】 本発明の第6実施例についての全体模式図である。

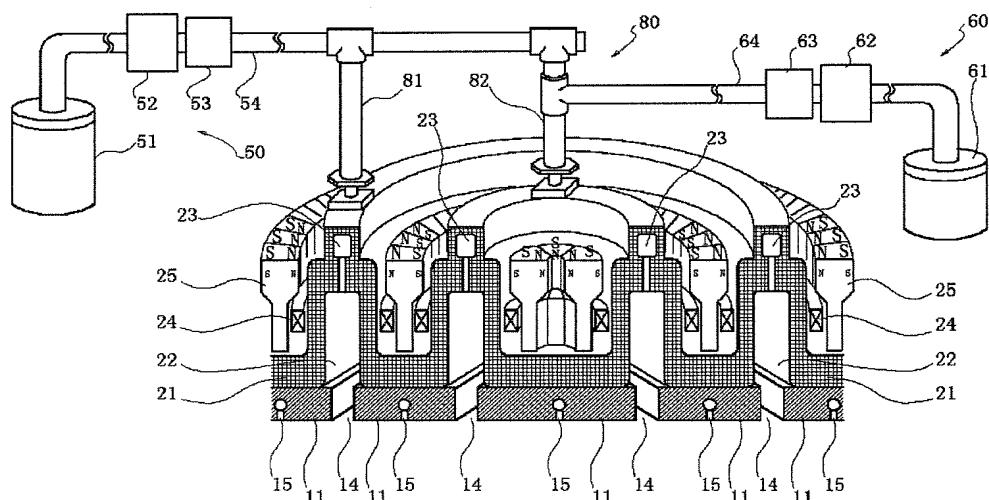
【図9】 本発明の第7実施例についての全体模式図である。

【符号の説明】

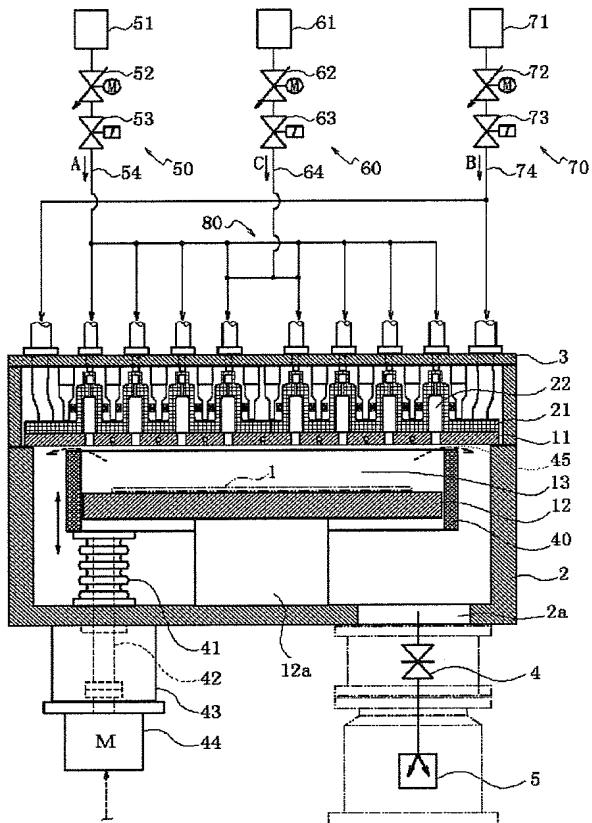
- 1 基板(ウエハ、処理対象物、被処理物)
- 2 真空チャンバ本体部(真空チャンバ)
- 2 a 吸引口
- 3 真空チャンバ蓋部(真空チャンバ)
- 4 ゲートバルブ(仕切弁)

5	真空ポンプ	* 量可変部)
10	低温プラズマ	5 3 開閉弁
11	アノード部 (平行平板の一方、第1印加回路、第1機構)	5 4 配管 (第1のガス導入路)
11 a	アッパーサポート	6 0 添加ガス供給ユニット (副次ガス送給装置、第3ガスの供給源)
12	カソード部 (平行平板の他方、第1印加回路、第1機構、基板支持体)	6 1 ガスボンベ (ガス貯留部)
12 a	ローアーサポート	6 2 流量制御弁 (流量可変部)
13	プラズマ処理空間	6 3 開閉弁
14	連通口	6 4 配管 (第3のガス導入路)
15	処理ガス供給口 (第2のガス導入路)	10 7 0 処理ガス供給ユニット (反応ガス送給装置、第2ガスの供給源)
20	高密度プラズマ	7 1 ガスボンベ (ガス貯留部)
21	プラズマ発生チャンバ (隣接機構部、第2機構)	7 2 流量制御弁 (流量可変部)
22	プラズマ発生空間	7 3 開閉弁
23	プラズマ用ガス送給路 (第1のガス導入路兼第3のガス導入路)	7 4 配管 (第2のガス導入路)
24	コイル (第2印加回路)	8 0 配管等ユニット (第1ガスと第3ガスとの混合手段)
25	永久磁石片 (磁気回路用の磁性部材)	8 1 配管 (分岐管、第1のガス導入路)
31	R F 電源 (第1印加回路)	8 2 配管 (分岐管、第1のガス導入路兼第3のガス導入路)
32	R F 電源 (第2印加回路)	20 ガス導入路)
40	可動壁体 (可変絞り)	8 3 オリフィス (混合率分布調整手段)
41	ベローズ (蛇腹、壁体駆動機構)	8 4 チョーク (可変絞り、混合率分布調整手段)
42	ボールネジ (進退駆動軸、壁体駆動機構)	8 5 マスフローコントローラ (流量制御弁、混合率分布調整手段)
43	サポート (支柱、壁体駆動機構)	9 0 添加ガス供給ユニット (非反応性ガス等送給装置、第3ガスの供給源)
44	モータ (電動機、壁体駆動機構)	9 1 ガスボンベ (ガス貯留部)
45	絞り部	9 3 開閉弁
50	プラズマ用ガス供給ユニット (非反応ガス送給装置、第1ガス供給源)	9 4 配管 (第3のガス導入路)
51	ガスボンベ (ガス貯留部)	
52	マスフローコントローラ (流量制御弁、流*30	

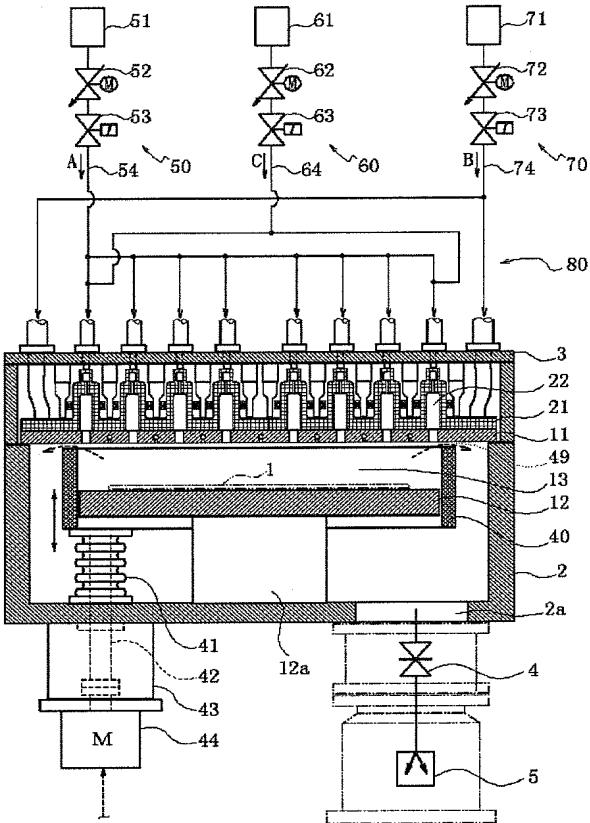
【図2】



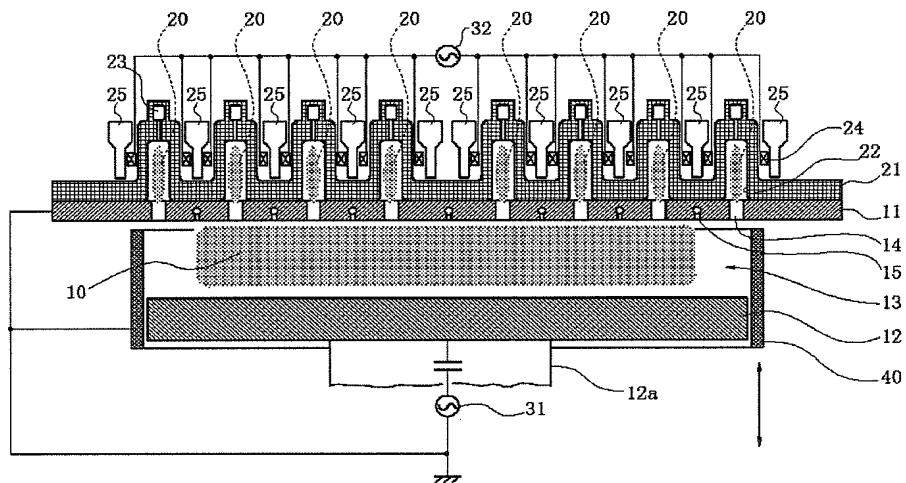
【図1】



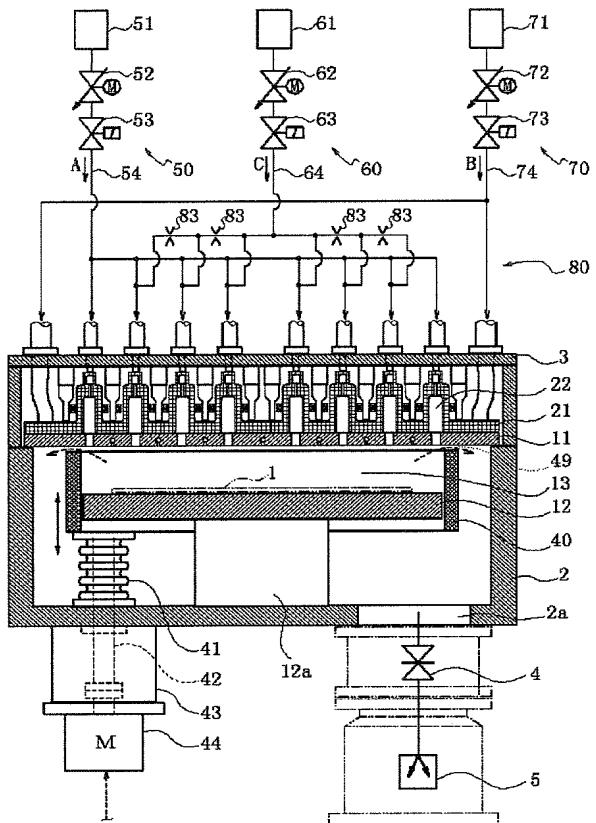
【図4】



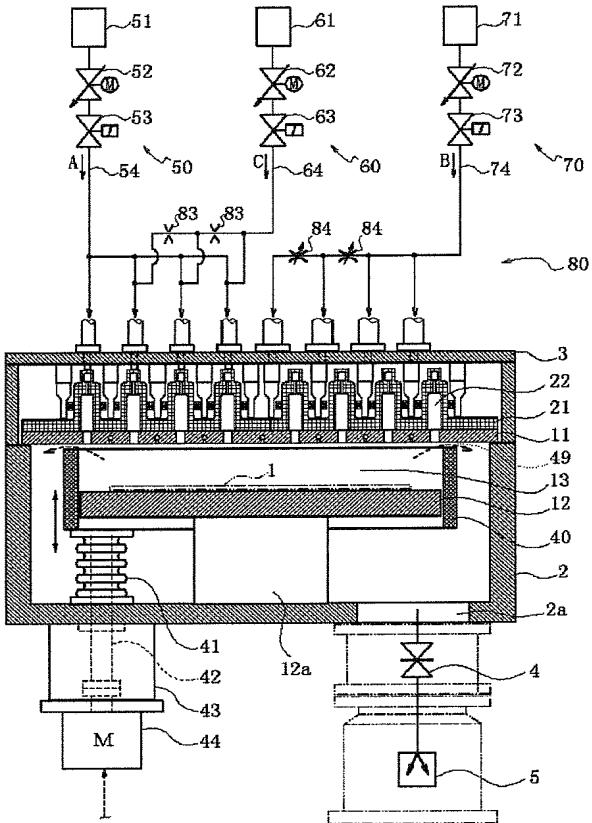
【図3】



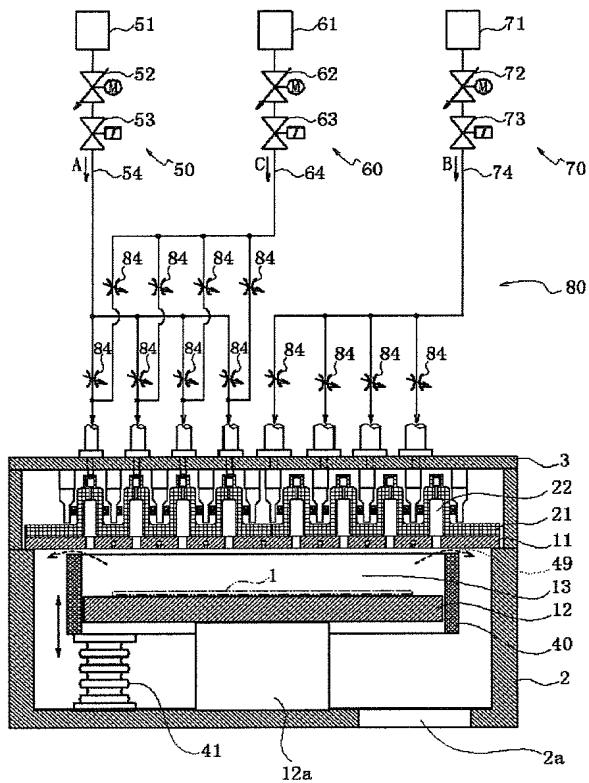
【図5】



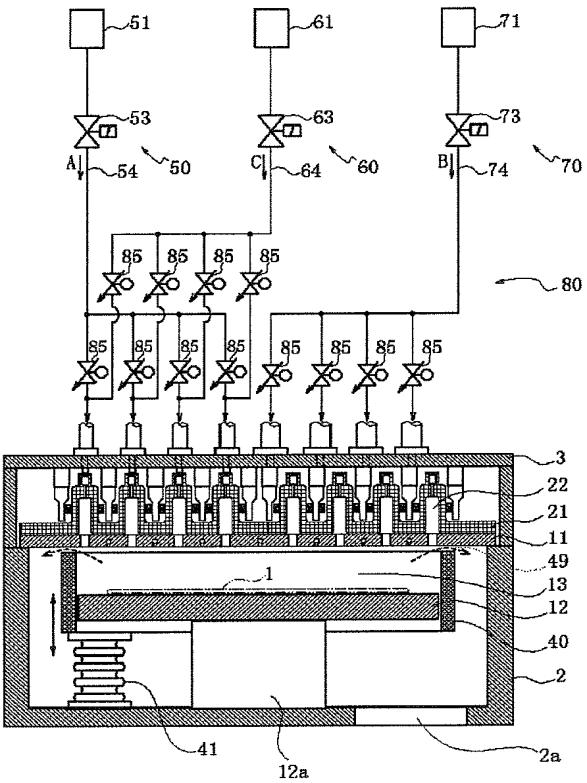
【図6】



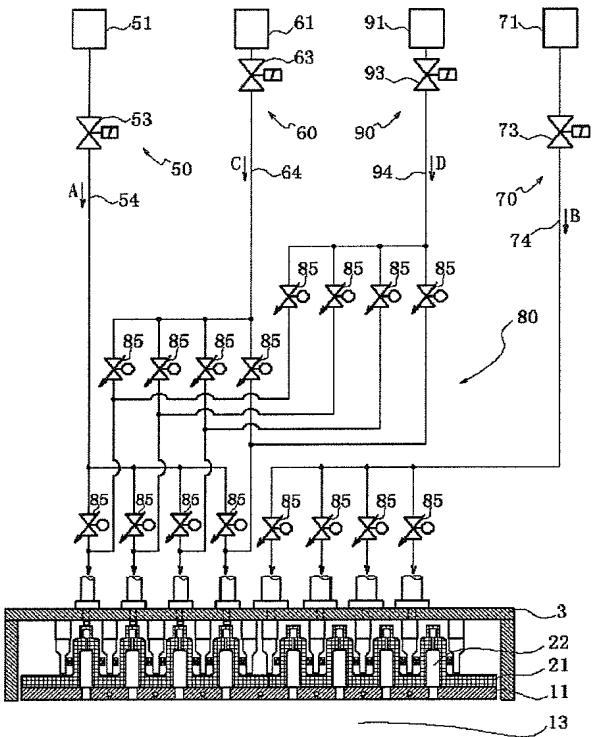
【図7】



【図8】



【図9】



## フロントページの続き

(72) 発明者 野平 貴之  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5-5 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者 釘宮 敏洋  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5-5 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者 野沢 俊久  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5-5 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者 德村 哲夫  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5-5 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者 宗政 淳  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5-5 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者 石橋 清隆  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5-5 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

F ターム(参考) 4K030 AA14 AA18 CA04 DA04 EA01  
EA05 FA01 JA06 LA15  
4K057 DA16 DA20 DB20 DD01 DD03  
DE14 DE20 DG06 DG07 DG08  
DG12 DG13 DG20 DM02 DM03  
DM06 DM14 DM22 DM23 DM37  
DN01  
5F004 AA01 BA04 BA08 BA09 BA11  
BA14 BB07 BB11 BB18 BB28  
BB29 BC03 BC08 BD07 CA02  
CA09 DA00 DA22 DA23 DA25  
DA26 DA28 DB00  
5F045 AA08 AA10 AC11 AC15 AC16  
AC17 BB02 DP02 DP03 EE12  
EE20 EF05 EH04 EH05 EH11  
EH12 EH13 EH16 EH17 EH19  
EM09